

# Umklassierung LiDAR-Daten des Bundes und Ableitung von Höhenderivaten

## Technischer Bericht



15. Januar 2020

## **Inhaltsverzeichnis:**

|          |                                             |           |
|----------|---------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Ausgangslage</b>                         | <b>3</b>  |
| 1.1      | Aufträge                                    | 3         |
| 1.2      | Analyse der Klassierung der Ausgangsdaten   | 3         |
| 1.3      | Weitere Qualitätsmerkmale der Ausgangsdaten | 7         |
| <b>2</b> | <b>Arbeiten Umklassierung</b>               | <b>8</b>  |
| 2.1      | Automatische Prozesse                       | 8         |
| 2.2      | Manuelle Arbeiten                           | 9         |
| <b>3</b> | <b>Aufbereitung Höhenderivate</b>           | <b>9</b>  |
| 3.1      | Raster-DTM                                  | 9         |
| 3.2      | Raster-DOM                                  | 10        |
| 3.3      | Vegetationshöhenmodell                      | 10        |
| 3.4      | Gebäudehöhenmodell                          | 10        |
| 3.5      | Hangneigungsraster                          | 10        |
| <b>4</b> | <b>Kurzbeurteilung des Projekts</b>         | <b>11</b> |

## **Dokumenteninformation:**

|                 |                                                                                   |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Auftragsnummer: | 2019192                                                                           |
| Dokumentenname: | 2019328_doku_umklassierung_lidar_bund.docx                                        |
| Autor:          | Johannes Gerber                                                                   |
| Speicherdatum:  | 15.01.2020 08:08                                                                  |
| Druckdatum:     | 15.01.2020 08:09                                                                  |
| Empfänger:      | Kanton Zürich<br>Amt für Raumentwicklung<br>Stampfenbachstrasse 12<br>8090 Zürich |

## 1 Ausgangslage

### 1.1 Aufträge

Der Kanton Zürich erhielt die Daten der LiDAR-Befliegung des Bundes. Da diese nicht der Struktur der kantonalen Geodaten entspricht, wurde eine Anpassung der Klassierung gewünscht. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die unterschiedlichen Klassen und ihre Entsprechungen.

| Klassierung Bund | Klassierung Kanton Zürich                                                            | Methode                                   |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2 Boden          | 2 Boden                                                                              |                                           |
| 3 Vegetation     | 3 Vegetation tief / Rauschen<br>4 Vegetation mittel 0.5-3m<br>5 Vegetation hoch > 3m | automatisch<br>automatisch<br>automatisch |
| 6 Gebäude        | 6 Gebäude                                                                            |                                           |
| 7 Rauschen/Noise | 7 Ausreisser / Fehlpunkte<br>3 Vegetation tief / Rauschen                            | automatisch<br>automatisch                |
| 9 Wasser         | 2 Boden                                                                              | automatisch                               |
| 17 Brücken/Stege | 17 Brücken/Stege                                                                     |                                           |
| 1 Übrige         | 1 Übrige<br>15 Freileitungen, Masten, Antennen                                       | manuell                                   |
|                  | 12 Streifenrandpunkte                                                                | nicht nötig                               |

Nebst der Umklassierung der Punktwolke sollen auch diverse Höhenderivate abgeleitet werden:

- Raster-DTM
- Raster-DOM (spikefree)
- Vegetationshöhenmodell
- Gebäudehöhenmodell
- Hangneigungsraster

### 1.2 Analyse der Klassierung der Ausgangsdaten

Für die Umklassierungsarbeiten und die Ableitung der Höhenderivate wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Ausgangsdaten „fehlerfrei“ sind. Das heisst, Nacharbeiten an den Ausgangsdaten waren nicht vorgesehen. Während den manuellen Schritten der Umklassierung offenbarten sich leider viele Mängel an den Ausgangsdaten, welche im Nachfolgenden dokumentiert werden sollen. Da die Daten nicht systematisch durchsucht wurden, handelt es sich um eine Auswahl der am häufigsten auftretenden Fehler.

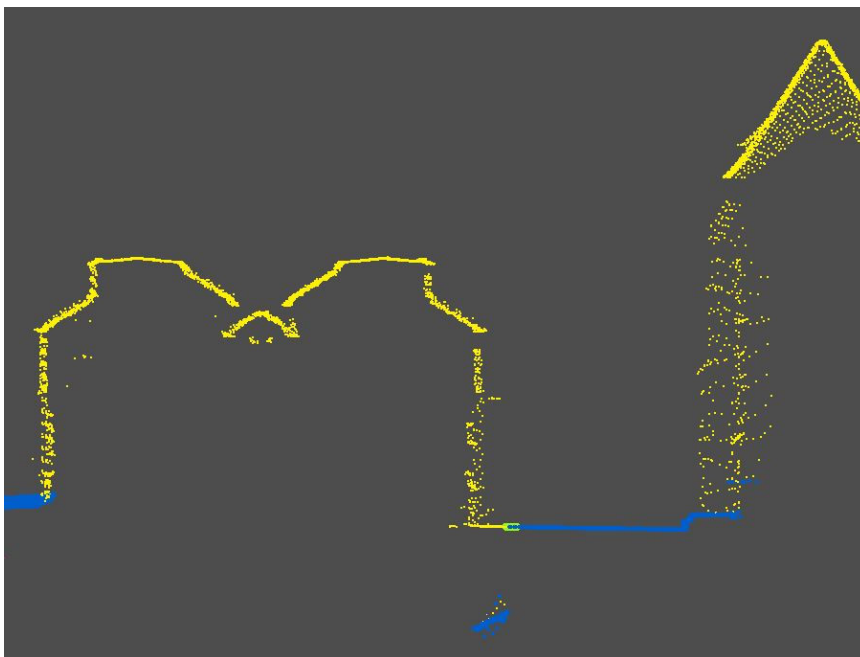
Für alle nachfolgenden Abbildungen wird folgendes Farbschema verwendet:

- 2 Boden
- 3 Vegetation tief / Rauschen
- 4 Vegetation mittel
- 5 Vegetation hoch
- 6 Gebäude
- 17 Brücken
- 1 Übrige

### 1.2.1 Klasse Boden

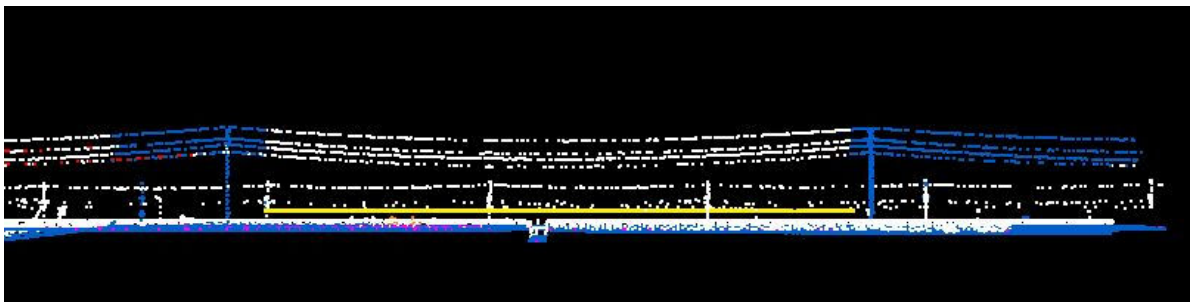
Die Boden-Klassierung erfolgte wahrscheinlich nicht wie beim letzten LiDAR-Projekt des Kantons Zürich mit der Methode von TerraSolid, welche ein möglichst rauscharmes Geländemodell ergeben soll. Es wurden alle Punkte am Boden als Bodenpunkte klassiert, inklusive Messrauschen und der tiefsten Vegetation. Dies ist vor allem daran erkennbar, dass die Punktdichte auf Gebäudedächern und am Boden vergleichbar ist. Die Klasse 7 (Rauschen) wurde im Datensatz nicht mitgeliefert. Damit ergibt sich im Gegensatz zu den bisherigen LiDAR-Daten kein flächendeckender Teppich von Punkten in der Klasse „Vegetation tief/Rauschen“.

Während die Integration des Messrauschens in die Bodenklasse nur geringe Nachteile für die Produktqualität mit sich bringt, wurden leider viele Messpunkte unterhalb des Bodens ebenfalls in die Bodenklasse integriert. Das heisst, Messungen in Ablaufschächte, Lüftungsschächte etc. sind als Boden in den Daten enthalten und führen zu „Löchern“ im DTM.



Lüftungsschacht im Boden

An einigen Orten sind auch Objekte deutlich über dem Bodenniveau als Boden klassiert. So zum Beispiel ein Stück einer Hochspannungsleitung. Dies tritt aber nur selten auf. Ebenfalls finden sich Geländepartien, die umgekehrt dazu als Vegetation oder Gebäude klassiert wurden.

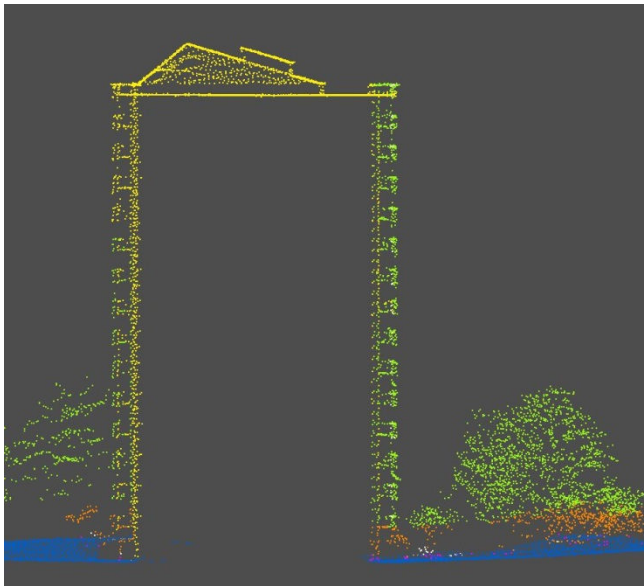


Bodenpunkte in Hochspannungsleitungen

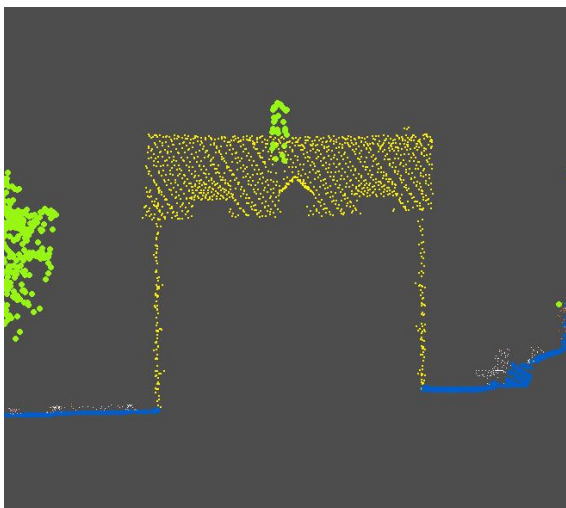
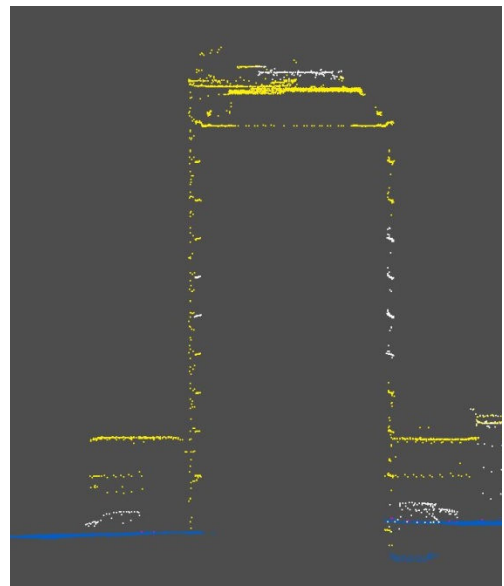
### 1.2.2 Klasse Gebäude

Viele Gebäude enthalten Punkte anderer Klassen. So sind Gebäudeteile häufig als „Übrige“ klassiert oder sogar Teil der Vegetationsklasse. Meistens sind diese Punkte aber in den Hauswänden oder bei kleineren Dachaufbauten zu finden, so dass die auf das Oberflächenmodell der Gebäude keinen wesentlichen Einfluss haben. Durch ihr häufiges Auftreten stellen sie dennoch einen erheblichen technischen Mangel der Klassierung dar.

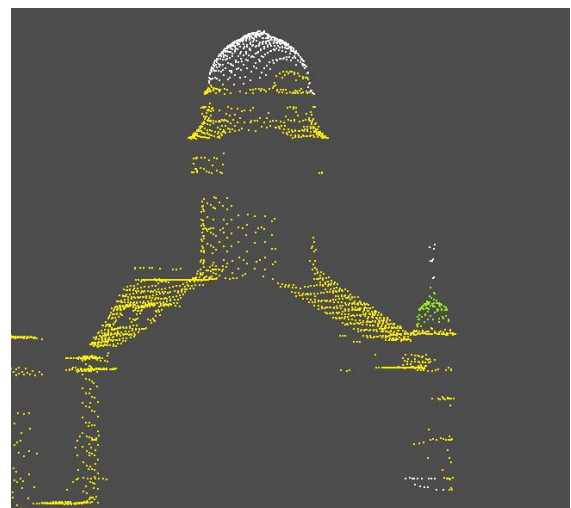
Neben den verschiedenen Beispielen, die in den nachfolgenden Abbildungen gezeigt werden, wurden auch viele Übrige Objekte als Gebäude klassiert, z.B. Teile von Hochspannungsleitungen, Antennen, Vegetationsteile etc. Hierbei handelt es sich aber mehr um Einzelfälle als um ständig wiederkehrende Phänomene.

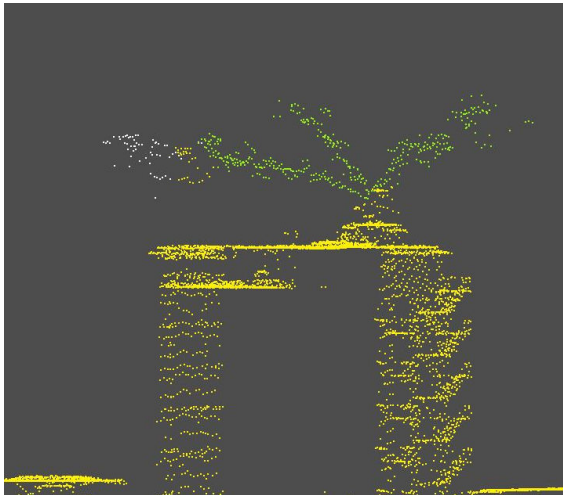


Balkone in Vegetation und Übriges

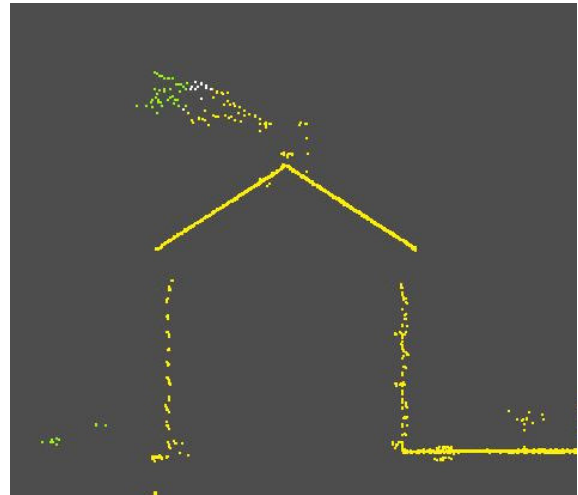


Dachteile in Vegetation und Übriges





Rauch in Gebäude, Vegetation und Übriges



#### 1.2.3 Klasse Vegetation

Diese Klasse enthält viele Punkte, welche zu den Klassen Gebäude oder Übriges gehören würden. Siehe dort.

#### 1.2.4 Klasse Wasser

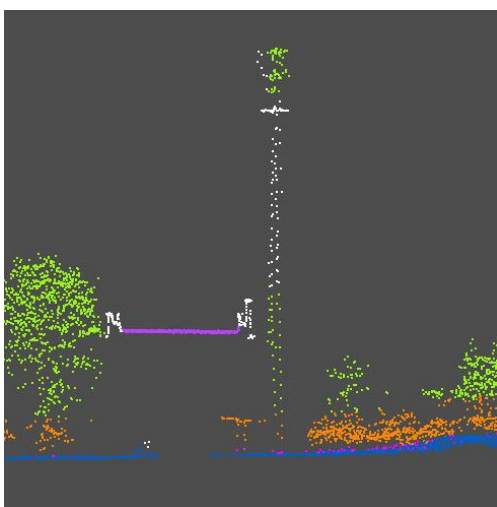
In dieser Klasse finden sich viele Punkte deutlich über der Wasseroberfläche (bis zu 1.5m höher als der Seespiegel). Diese gehörten meist in die Klasse Übriges. Daher kann die Klasse nicht als Fortsetzung der Bodenklasse auf Wasserflächen betrachtet werden.

#### 1.2.5 Klasse Übriges

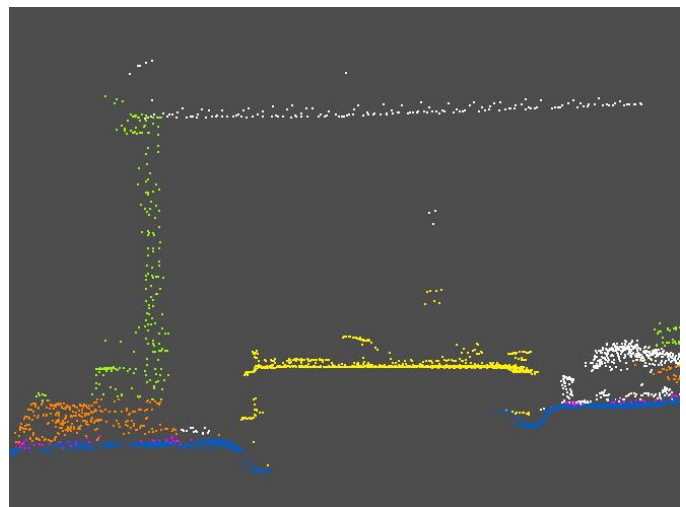
Das Messrauschen (resp. Punkte knapp über dem Boden) sind in dieser Klasse anstelle der Klassen 7 und 3 enthalten, wo sie sich gemäss Spezifikationen der Swisstopo befinden sollten. Die Klasse 7 enthält keine Punkte resp. wurde nicht mitgeliefert.

Die Klasse „Übriges“ enthält ebenfalls viele Gebäudepunkte, siehe dort.

Auch Objekte, die eindeutig zur Klasse „Übrige“ gehören würden, sind häufig nicht oder nur teilweise dieser Klasse zugewiesen. Die teilweise Klassierung von Objekten deutet auf eine automatische Klassierung ohne manuelle Kontrollen hin.



Antenne und Kran teilweise in Vegetation





### 1.2.6 Zusammenfassung der Qualität der Klassierung

Das häufige Vorkommen von gemischt klassierten Objekten deutet auf eine automatische Klassierung ohne genügende manuelle Nacharbeiten hin. Vermutlich wurde die Klassierung mittels Künstlicher Intelligenz / machine learning durchgeführt. Unter dieser Annahme entspricht die Klassierung einem erstaunlich guten Standard, welcher auf ein hohes Potential für zukünftige Entwicklungen hinweist.

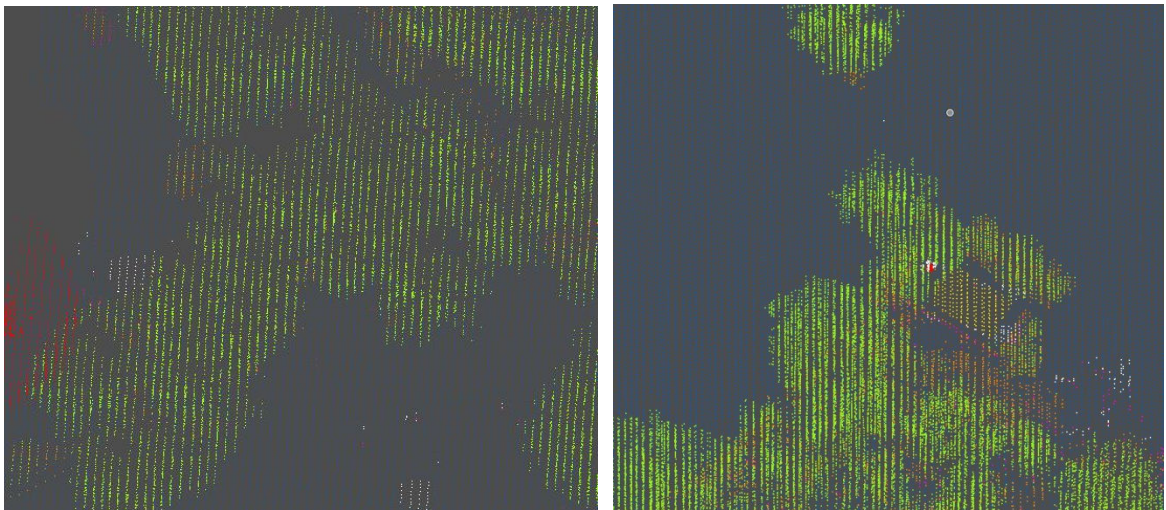
Leider wurden viele Korrekturen die ohne grossen Aufwand automatisiert realisiert werden könnten, nicht durchgeführt. Damit hätte sich ein wesentlich besseres Produkt erzielen lassen. Das Pflichtenheft der Swisstopo verlangte bei automatischen Klassierungsverfahren eine manuelle Kontrolle und Nachbesserung. Diese manuellen Korrekturen wurden offensichtlich nicht oder nicht in genügendem Masse vorgenommen.

Die Klassierungsqualität der vorliegenden Daten entspricht somit weder dem Stand der Technik noch den Pflichtenheft der Swisstopo gemäss der Ausschreibung des Projektes.

### 1.3 Weitere Qualitätsmerkmale der Ausgangsdaten

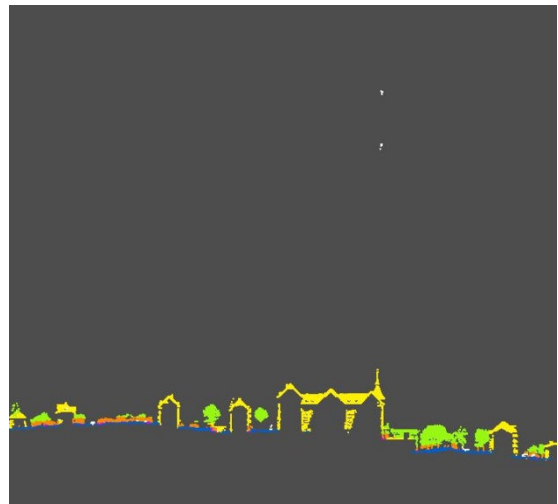
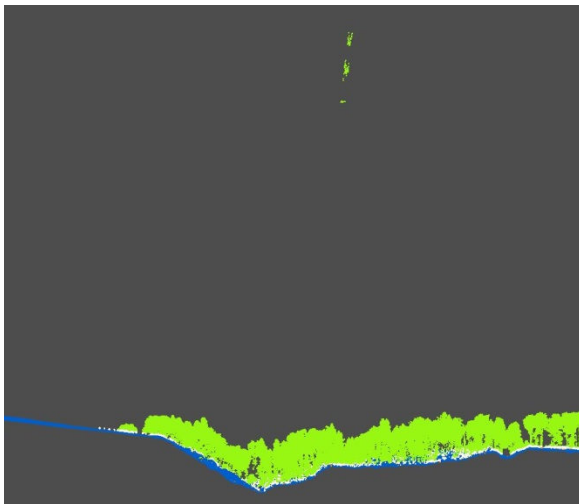
Da in diesem Projekt vor allem die Klassierung betrachtet wurde, kann die sonstige Qualität der Ausgangsdaten nur anhand von zufällig aufgefundenen Merkmalen beurteilt werden. Grundsätzlich sind uns aber nur wenige Einschränkungen aufgefallen, daher ist eine hohe Datenqualität zu erwarten.

In mehreren Projektabschnitten ist ein deutliches Scanlinienmuster festzustellen.



Streifenmuster in verschiedenen Gebieten (Beispiel links: Uetliberg)

Die Daten wurden zudem nicht vollständig bezüglich Fehlmessungen / Luftpunkten bereinigt.



Luftpunkte in Klasse Vegetation und Übriges

## 2 Arbeiten Umklassierung

### 2.1 Automatische Prozesse

Die meisten der vorgesehenen Umklassierungen konnten automatisch durchgeführt werden.

#### 2.1.1 Umklassierung Wasser zu Boden

Da die Wasserpunkte zum Teil deutlich über der Wasseroberfläche lagen, wurde zuerst eine automatische Filterung von Bodenpunkten innerhalb der Wasserpunkte durchgeführt. Dabei werden grundsätzlich die tiefsten Punkte behalten, und höher liegende Punkte nur akzeptiert, wenn sie einen gewissen Steigungswinkel zu den anderen Punkten nicht überschreiten. Punkte die innerhalb von  $\pm 20\text{cm}$  über oder unter den so klassierten Punkten lagen wurden ebenfalls in die Bodenklasse verschoben. Alle verbleibenden Wasserpunkte wurden in die Klasse „Übriges“ verschoben.

#### 2.1.2 Bereinigung von Unterbodenpunkten

Dieser Schritt war nicht im Rahmen der Umklassierungsarbeiten vorgesehen. Damit konnte aber ohne grossen Aufwand eine deutliche Verbesserung der abzuleitenden Höhenderivate erzielt werden.

Mittels automatischen Prozessen wird nach Punkten gesucht, die um einen bestimmten Schwellwert tiefer liegen als die benachbarten Punkte in einem vorgegebenen Umkreis. Dabei können sowohl Einzelpunkte als auch Punktgruppen als Unterbodenpunkte erkannt werden. Durchschnittlich wurden pro Kachel 330 Unterbodenpunkte automatisch identifiziert und der Klasse 7 zugewiesen. In städtischen Gebieten waren es deutlich mehr.

#### 2.1.3 Unterteilung der Vegetationshöhen

Die Unterteilung der Vegetation in die drei Höhenstufen erfolgte automatisch mit Hilfe der Höhe ab Boden. Um zu vermeiden, dass bei nahezu senkrechten (Fels-)Wänden alle Vegetationspunkte in der Klasse 5 „Vegetation hoch“ gespeichert werden, wurden Punkte aus der Klasse 5, welche eine 3D-Distanz von weniger als 0.5m zu Bodenpunkten aufweisen der Klasse



4 „Vegetation mittel“ und Punkte aus der Klasse 4 innerhalb von 0.5m zu Bodenpunkten der Klasse 3 zugewiesen.

#### 2.1.4 Bereinigung Klasse Übriges

Das Messrauschen befand sich entgegen den Spezifikationen in der Klasse 1 „Übriges“ anstelle der Klasse 7 „Rauschen/Noise“. Eine automatische Umklassierung wurde anhand der Höhe über Boden vorgenommen. Alle Punkte zwischen -0.2 und +0.2m und mit weniger als 0.5m 3D-Distanz zu einem Bodenpunkt wurden der Klasse 3 „Vegetation tief / Rauschen“ zugewiesen. Punkte unterhalb -0.2m wurden der Klasse 7 „Ausreisser/Fehlpunkte“ als Unterbodenpunkte zugeordnet.

### 2.2 Manuelle Arbeiten

Manuelle Arbeiten waren nur für die Klasse 15 „Freileitungen/Masten/Antennen“ nötig.

#### 2.2.1 Freileitungen

Anhand der Klasse Übriges konnte eine Hinweiskarte für Freileitungen erstellt werden. Dabei wurden alle „übrigen“ Punkte über 15m ab Boden separiert. Aus diesen Punkten konnten Polygone abgeleitet werden, wobei längliche Polygone als Hinweise auf Hochspannungsleitungen interpretiert wurden. Ein Vergleich mit den Daten der amtlichen Vermessung ergab, dass die Hochspannungsleitungen komplett detektiert wurden.

Die Klassierungsarbeiten wurden mit Hilfe dieser Hinweiskarte manuell ausgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass viele Leitungsmasten und z.T. auch Abschnitte der Hochspannungsleitungen nicht als Klasse „Übriges“, sondern als Vegetation, Gebäude oder sogar Boden klassiert waren. Deshalb konnten entgegen den Erwartungen die Rastermodelle DTM und DOM nicht parallel zur manuellen Klassierung erzeugt werden, was zu Verzögerungen im Produktionsprozess führte.

Niederspannungs-, Telefon- und Fahrstromleitungen wurden nicht klassiert. Durch den geringeren Kabelquerschnitt wurden auf diesen Leitungen deutlich weniger Punkte gemessen.

#### 2.2.2 Antennen und Masten

Grundsätzlich wurde der Datensatz der amtlichen Vermessung verwendet. Da dieser aber fast ausschliesslich frei stehende Antennen enthält, wurden zusätzlich durch eine automatische Analyse Hinweise zu Antennen auf Gebäuden gesucht. Hierzu wurden Punktgruppen der Klasse „Übrige“ oberhalb von Gebäudepunkten gesucht.

Die anschliessende Klassierung der so aufgefundenen Antennen erfolgte manuell und zeigte wieder viele ursprünglich falsch klassierte Objekte.

## 3 Aufbereitung Höhenderivate

### 3.1 Raster-DTM

Das Raster-DTM wird ausschliesslich aus der Klasse 2 „Boden“ berechnet. Hierfür werden die Geländepunkte trianguliert. Für den Mittelpunkt jeder Rasterzelle wird eine Höhe aus dem triangulierten Modell abgeleitet.

Um saubere Übergänge zwischen benachbarten Kacheln zu ermöglichen wird das triangulierte Modell überlappend berechnet. Am Rand der Kacheln am Projektrand kann es zu fehlenden Pixeln kommen, wenn die äussersten Zellen keine Bodenpunkte enthalten (z.B. an Kachelrändern in Gewässern).

### 3.2 Raster-DOM

Das digitale Oberflächenmodell berechnet sich aus den Klassen 2 „Boden, 3-4 „Vegetation mittel/hoch“, 6 „Gebäude“ und 17 „Brücken/Stege“.

Zur Berechnung wurde der Spikefree-Algorithmus von Lastools angewendet. Dieser verhindert insbesondere im Wald das Hin- und Herspringen des Modells zwischen Boden- und Vegetationspunkten. Es entsteht ein viel „glatteres“ DOM.

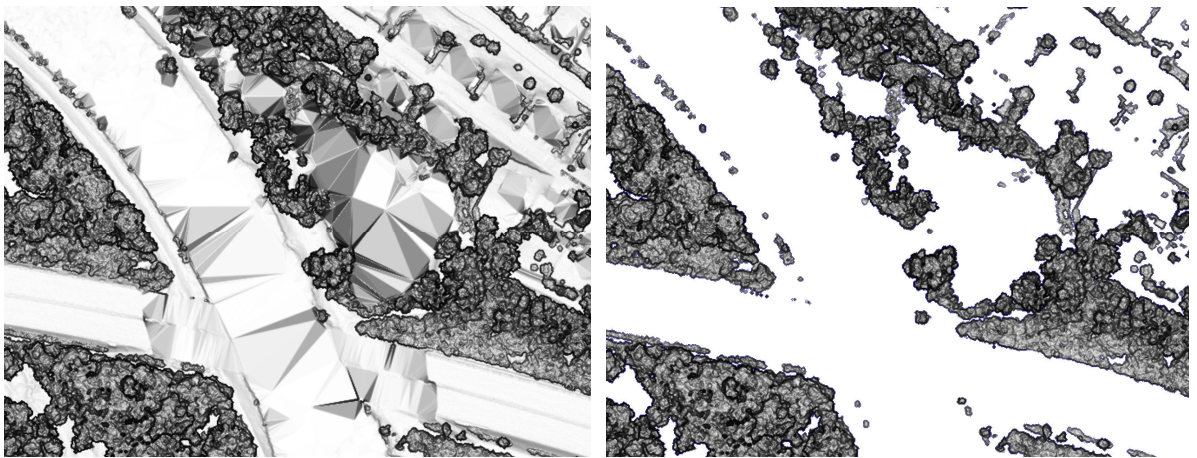
Wie beim DTM wurde auch für das DOM mit einer Überlappung zu den benachbarten Kacheln gearbeitet. Bei den äussersten Kacheln kann es auch im DOM zu leeren Rasterzellen kommen.

### 3.3 Vegetationshöhenmodell

Dieses Modell entsteht aus der Subtraktion des Geländemodells vom Oberflächenmodell. Um Fehler durch Kunstbauten auszuschliessen, wurde ein separates Oberflächenmodell DOM<sub>v</sub> berechnet, welches nur die Vegetationsklassen und die Bodenpunkte berücksichtigt.

Da die Berechnungsmethoden von DTM und DOM<sub>v</sub> sich leicht unterscheiden, wurde flächendeckend eine Höhendifferenz ausgewiesen. Deshalb werden Höhendifferenzen unter 0.5m auf Null gesetzt (entspricht der Höhe der Klasse 3 „Tiefe Vegetation/Rauschen“).

Hinzu kommt, dass Bäume am See- und Flussufer sowie neben Gebäuden zu den nächsten Boden- und Vegetationspunkten trianguliert werden und somit „Rampen“ entstehen (siehe nachfolgende Abbildung). Aufgrund dieser Triangulation würden an vielen Orten Vegetationshöhen ausgewiesen, wo keine Vegetation vorhanden ist. Deshalb wurde das Differenzmodell zugeschnitten auf diejenigen Rasterzellen, welche in der Punktwolke auch tatsächlich Vegetationspunkte enthalten. Alle Bereiche ohne Vegetation wurden mit dem Wert 0 gefüllt.



Triangulation im Vegetations-DOM und resultierendes Vegetationshöhenmodell

### 3.4 Gebäudehöhenmodell

Dieses Modell wurde analog zum Vegetationshöhenmodell berechnet, allerdings kommen beim DOM<sub>g</sub> nur die Klassen Boden und Gebäude zum Zug. Auch dieses Modell wurde auf diejenigen Rasterzellen zugeschnitten, welche in der Punktwolke Gebäudepunkte enthalten.

Dadurch, dass im DTM die Gebäude „zutrianguliert“ werden, kann es bei Gebäuden am Hang vorkommen, dass auch Flachdächer einen Höhenverlauf aufweisen.

### 3.5 Hangneigungsraster

Die Hangneigungsraster wurden in zwei Versionen berechnet. In der ersten Version enthalten die Pixel die Neigungswerte in Bogengrad. Die zweite Version weist die Hangneigungen in Prozent aus, wobei die Werte auf einen 5-er Wert gerundet wurden.

## **4 Kurzbeurteilung des Projekts**

Diese Beurteilung stellt den Projektablauf aus Sicht des Unternehmers dar:

- Die Klassierung der Ausgangsdaten ist mangelhaft und entspricht nicht den in der Schweiz üblichen Qualitätsanforderungen. Durch die automatische Bereinigung vieler Unterbodenpunkte konnte dennoch ein qualitativ hochwertiges Geländemodell abgeleitet werden. Die Klassierungsmängel bei Kunstbauten und Vegetation fallen weniger ins Gewicht.
- Die manuellen Umklassierungen von Hochspannungsleitungen und Antennen stellten den aufwändigsten Teil des Projektes dar. Der Schwerpunkt lag dabei im Auffinden der in Frage kommenden Objekte. Da bei diesen Arbeiten auch viele Vegetations- und Gebäudepunkte umklassiert wurden, konnten die Rastermodelle nicht parallel dazu erstellt werden, was zu Verzögerungen im Projektablauf führte.
- Die Datenlieferung erfolgte Mitte Januar.

Die Firma Flotron AG bedankt sich für den geschätzten Auftrag.

Meiringen, 15. Januar 2020

Flotron AG

Johannes Gerber